

**МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ДВУХЧАСТОТНОГО ЗОНДИРОВАНИЯ  
РАСПРЕДЕЛЕННЫХ И КВАЗИРАСПРЕДЕЛЕННЫХ ДАТЧИКОВ  
В ВОЛОКОННО-ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ ОХРАНЫ ПЕРИМЕТРА**

*В.Г. Куприянов<sup>1</sup>, Е.П. Денисенко<sup>2</sup>, О.Г. Морозов<sup>3,4</sup>,*

*П.Е. Денисенко<sup>3</sup>, Л.М. Сарварова<sup>3</sup>, П.Е. Симаков<sup>4</sup>, С.В. Тимофеев<sup>4</sup>*

*(<sup>1</sup> Москва, НИИ ПС, kvg67@mail.ru;*

*<sup>2</sup> Казань, ФНПЦ «Радиоэлектроника им. В.И. Шимко», greydeni@mail.ru;*

*<sup>3</sup> Казань, КНИТУ-КАИ им. А.Н.Туполева, microoil@mail.ru;*

*<sup>4</sup> Казань, КФ ПГУТИ, psati\_omorozov@mail.ru)*

**METHODS AND MEANS FOR TWO FREQUENCY PROBING  
OF DISTRIBUTED AND QUASI DISTRIBUTED SENSORS  
IN FIBER OPTICAL PERIMETER SECURITY SYSTEMS**

*V.G. Kupriyanov, E.P. Denisenko, O.G. Morozov,*

*P.E. Denisenko, L.M. Sarvarova, P.E. Simakov, S.V. Timofeev*

Целью данной работы является рассмотрение принципов регистрации спектральных характеристик контура усиления Мандельштама-Бриллюэна (УМБ) и контура волоконных решеток Брэгга (ВРБ) в оптических волокнах, входящих в структуру охраны периметра специальных территорий (аэродромов, складов с горючими и взрывоопасными веществами и т.д.). На базе регистрации и локализации спектрального эффекта УМБ строятся распределенные, а на базе эффекта сдвига центральной частоты ВРБ квазираспределенные датчики натяжения или давления, вызванного контактом нарушителя.

Мониторинг хранения взрывоопасных веществ (ВВ) подразумевает систему постоянных наблюдений, оценки и прогноза изменений состояния и местонахождения ВВ. Оперативность и однозначность получаемых при этом оценок достигается на основе создания и применения единого интерфейса, как совокупности средств и правил, обеспечивающих взаимодействие устройств вычислительной системы и программного обеспечения с пользователями АРМ мониторинга хранения ВВ [1] и АРМ охраны периметра склада (ОПС) для предотвращения террористических и случайных (несанкционированных) угроз от внешнего проникновения.

В специальных системах ОПС широкое применение находят не только волоконно-оптические датчики на базе волоконных решеток Брэгга (ВРБ-датчики), но и распределенные датчики охраны периметра на основе нелинейных эффектов рассеяния Рамана и Мандельштама-Бриллюэна в классических оптических волокнах, например SMF-28, что определяется уникальными свойствами: устойчивостью к воздействию электромагнитных помех, диэлектрическим характером соединений в системах, пожаробезопасностью, малыми массой и габаритами и, наконец, возможностью объединения в волоконно-оптическую систему съема, передачи и обработки информации.

Распределенные датчики на основе регистрации рассеянного излучения Мандельштама-Бриллюэна были рассмотрены нами в [2]. Один из методов спектральной характеристики квазираспределенных ВРБ-датчиков на основе двухчастотного зондирования и соответствующей амплитудной и фазовой обработки огибающей двухчастотного сигнала представлен нами в [3].

В данном докладе для квазираспределенных ВРБ-датчиков рассматривается четырехчастотное зондирование – попарно по склонам контура ВРБ. При этом разностная частота пар различна, а начальная настройка средней частоты между парами определяется центральной частотой несмещенной ВРБ. Данный метод позволяет проводить оценку спектральных характеристик только по амплитудным оценкам огибающей каждой из пар, в отличие от фазовой или амплитудно-фазовой в [3].

Для распределенных датчиков на основе одномодового волокна в качестве характеризующего параметра предложено использовать спектр контура УМБ. Для кварцевых волокон

сдвиг частоты Мандельштама-Бриллюэна составляет порядка 10-20 ГГц, а усиление Мандельштама-Бриллюэна наблюдается в полосе пропускания 20-100 МГц. Основными определяемыми параметрами является центральная частота контура усиления, его добротность и коэффициент усиления.

Классический метод определения спектра УМБ (СУМБ) основан на использовании двух лазеров: одного – для накачки ВРМБ, а другого – для зондирования сформированного спектра усиления. Недостаток этого метода состоит в необходимости строгого контроля разницы частот двух источников. Решение этой проблемы дает усовершенствованный метод, где оптический модулятор формирует двухчастотный сигнал, представляющий собой боковые полосы лазера накачки, которые потом используются для зондирования. В свою очередь недостатком данного метода следует считать необходимость учета вкладываемых в контур усиления мощностей и механизмов перекачки энергии между составляющими накачки и зондирования, отсутствие которых может привести к насыщению контура и появлению существенных погрешностей в определении характеристик СУМБ.

Определенный прогресс в системах определения СУМБ был достигнут при формировании сканирующего двухполосного амплитудномодулированного зондирующего излучения из излучения накачки. Однако данный метод характеризуется невысокой чувствительностью, обусловленной необходимостью приема и обработки сигналов в широкой полосе частот (10-20 ГГц), а также существенным влиянием на погрешность измерения наличия верхней боковой полосы частот.

Решение данной проблемы также было получено с помощью применения двухчастотного излучения, сформированного для излучения накачки. Одна частота соответствовала частоте накачки, а вторая ее стоксовой компоненте, при этом контур усиления Мандельштама-Бриллюэна соответствовал сдвинутый по частоте контур поглощения, который использовался для подавления верхней боковой полосы частот. Однако, как показала практика, данная система отличается высокой сложностью и необходимостью четкого контроля положения стоксовой компоненты и компоненты накачки, а также контура поглощения, особенно при сканировании зондирующего сигнала в пределах 20-100 МГц.

Не так давно была представлена система измерения, которая свободна от этого ограничения. Она основана на преобразовании СУМБ из оптической области в электрическую с помощью однополосного амплитудно-модулированного излучения, в котором верхняя боковая полоса подавлена. Несмотря на преимущества, реализация этого метода не всегда эффективна, в силу оставшейся характерной невысокой чувствительности измерений, по природе сходной с измерениями двухполосным амплитудно-модулированным зондирующим излучением в широкой полосе частот.

Представляемый в данном докладе метод основан на использовании преимуществ однополосной модуляции и двухчастотного зондирующего излучения, которое характеризуется возможностью переноса спектра информационного сигнала в область минимальных шумов фотоприемника, а также эффективным процессом обработки получаемой спектральной информации по характеристикам огибающей биений двух спектральных компонент.

### **Литература**

1. Куревин, В.В. Структурная минимизация волоконно-оптических сенсорных сетей экологического мониторинга /В. В. Куревин, О.Г. Морозов и др.// Инфокоммуникационные технологии. – 2009. – Т. 7. – № 3. – С. 46-52.
2. Пат. 92180 Российская Федерация МПК7 G01/K 11/32. Устройство для измерения параметров физических полей / Морозов О. Г., Морозов Г. А., и др.; заявитель и патентообладатель ГОУ ВПО ПГУТИ. Опубликовано. 10.03.10, Бюл. № 7. – 2 с.
3. Куприянов, В. Г. Волоконно-оптические технологии в системах охраны периметра / Куприянов В. Г., Морозов О. Г. и др. // Материалы X МНТК «ФТПВП», Самара, 2011.